

УДК 655.225

МОДЕЛЮВАННЯ НАФАРБЛЕННЯ РАСТРОВЕ ПЕРЕТВОРЕНИХ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ СВІТЛИХ ТОНІВ

А. В. Янчинський

Українська Академія Друкарства
вул. Під Голоском, 19, м. Львів, 79020, Україна

Розроблено математичну модель растрове перетворених цифрових зображень світлих тонів подану аналоговим виразом, у якому яскравість L виражається рівнями зі значеннями $[0, 255]$, над яким здійснено нормоване растрове перетворення $S = F(L_{n,v})$ і покриття відносних площ фарбою, описаною кількістю фарби V , залежно від коефіцієнта нафарблення та визначено нафарблення цифрових зображень $L_v = 255V$, що дає можливість розраховувати і будувати характеристики растрового перетворення, інтенсивність нафарблення та контрастну чутливість нафарблених растрове перетворених цифрових зображень.

Розроблено структурну схему моделі чотирьох каналного симулятора нафарблення растрове перетворених типових варіантів цифрових зображень світлих тонів в пакеті MATLAB: Simulink, який паралельно розраховує характеристики растрування, нафарблення, градаційні характеристики нафарблених зображень та їх контрастну чутливість, які дають можливість аналізувати їх властивості, що необхідні для якісного приготування цифрових зображень до друкування.

Описано покриття растрових елементів фарбою, визначеною кількістю фарби – нафарблення растрове перетворених цифрових зображень і на його основі побудовано градаційні характеристики типових варіантів нафарбленого растрового перетворення цифрових зображень. Для кількісної оцінки зорового сприйняття нафарбленого растрового перетворення цифрових зображень визначено його контрастну чутливість, яка відповідає чутливості зображень зором людини.

Подані результати моделювання характеристик типових варіантів растрове перетворених цифрових зображень, типові градаційні характеристики нафарблених цифрових зображень, які є випуклими кривими добре розташованими на інтервалі тонопередачі та графіки контрастної чутливості нафарбленого растрового перетворення цифрових зображень світлих тонів. Встановлено, що товщина фарби значною мірою впливає на градаційні характеристики і викликає втрати на темних ділянках, які становлять 24 - 64 рівнів сірого, а контрастна чутливість здійснюється від -1,0; -1,29; -1,5; -2,0 до -1,0; -0,20; -0,09; -0,02 одиниць.

Встановлено, що характеристики нафарблених типових варіантів растрового перетворення цифрових зображень є вгнутими кривими рівномірно розташованими на площині. Початкова кривизна характеристик залежить від показника степені. Найбільшу крутизну має характеристика, яка відповідає показнику

степені $r=2,0$. Доведено, що градаційні характеристики типових варіантів нафарбленого растрового перетворення цифрового зображення мають початкові значення 255 одиниць і є внутіми кривими з великою крутизною, яка поступово зменшується, криві прямують до кінцевого нульового значення, а характеристики стиснуті у світлі тони.

Результати проведених досліджень знано розширяють можливості аналізувати підготовку зображень до растрування у комп'ютерних видавничих системах.

Ключові слова: нафарблення, растрування, цифрові зображення, симулятор, характеристики, властивості, контрастна чутливість.

Постановка проблеми. Теоретичні основи растрового перетворення, які математично описують перетворення неперервного зображення у дискретне значно відстають від теорії цифрової обробки і перетворень зображень, яка широко розвинута та має різні методи обробки. Цифрове зображення подається масивом цифр і відповідає інтервалові $[0, 255]$ рівнів сірого, якими оперують при цифровій обробці зображень [4,6,8,9]. Натомість, в поліграфії при растровому перетворенні оперують растровими елементами різних геометричних розмірів, різної форми, основним носієм інформації про зображення є відносна площа растрового елемента, яка знаходиться в межах $[0, 1]$ [1,5,7].

Сьогодні у більшості випадків застосовують традиційні методи растрування у растрових процесах (RIP), коли можна вибрати форму растрового елемента і задати потрібну лініатуру [3]. В програмах комп'ютерної графіки типу Photoshop та інших не передбачено програми для розрахунку і побудови характеристики растрування. Дизайнер чи технолог, який готує цифрове зображення до друкування, у більшості немає оригіналу і коригує цифрові зображення на екрані монітора за допомогою стандартних функцій у програмах комп'ютерної графіки, наприклад, «Curves» (Криві). Зауважимо, що одержане якісне зображення відтворюється на моніторі випромінюваним світлом, чи на принтері, яке відтворюється під дією відбитого світла. Однак, одержане якісне зображення на моніторі чи принтері ще не гарантує його якісне відтворення поліграфічними методами, яке потребує растрування, виготовлення друкарської форми і покриття растрових елементів фарбою у друкарській машині. Якість підготовки зображення до друкування залежить від знань, умінь, виробничого досвіду і хисту оператора чи технолога, тому не може бути об'єктивною.

Отже, в оператора мало кількісних оцінок і характеристик про вплив товщини фарби на градаційну характеристику репродукції на якість тоновідтворення.

Отже, моделювання нафарблення растрове перетворених зображень дає можливість розраховувати, будувати і аналізувати характеристики растрування і нафарблення цифрових зображень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Растрування є однією із основних операцій приготування зображень до друкування. З появою комп'ютерної графіки розробили нові методи растрування: амплітудо-модульоване (АМ) растрування, частотне-модульоване (ЧМ). Змішане АМ/ЧМ, гібридні растри, стохастичне растрування – спосіб відтворення тону за рахунок випадкового розподілу малих

растрових елементів розмірів: 5,10,24 мкм однакових розмірів [4]. Проаналізовано властивості і недоліки класичних і нових методів растрування. Новітні способи забезпечують кращу якість зображення, у тому числі кольорових. Основною проблемою є жорсткі вимоги до стандартизації та нормалізації процесів, матеріалів, устаткування і друкарських машин, що є основною перешкодою широкого впровадження нових способів растрування.

Проблема вибору методу і алгоритму растрування і специфіка технології друкування виникають головним чином через відсутність критеріїв оцінки окремих стадій приготування зображень до друкування і наявність різних методів перетворення. Звернемо увагу на те, що в комп'ютерних видавничих системах і програмах комп'ютерної графіки, та растрових процесорах не передбачені програма побудови характеристики растрового перетворення, градаційної характеристики, нафарблення, растрової оптичної густини тощо.

У працях [1,2] подано загальні відомості про технологію растрування, растрову передачу, узгодження діапазонів тоновідтворення. Вона описується значеннями відносної площі растрових елементів $S = F(D, X)$. На кінцевій стадії на основі денсометричних вимірювань оптичної густини шару фарби на плашці відбитку розраховують характеристику демодуляції за формулою Юля - Нільсена.

Для оцінки якості відбитка використовують відносний контраст друку [4]:

$$K = \frac{D_{\phi} - D_{0,8}}{D_D}, \quad (1)$$

де $D_{0,8}$ – растрова густина видрукованого модельного взірця, для якого площа растрового елемента $S = 0,8$. Контрастом оцінюють репродукування лише в «тінях» й недостатньо повно характеризує репродукційний процес.

Отже, застосуванням формул Юля-Нільсена та відносного контрасту друку обмежуються інформаційні можливості репродукційного процесу.

Мета статті – розробити модель нафарблення растрового перетворених цифрових зображень. На основі цієї моделі розробити структурну схему моделі симулятора нафарблення растрове перетворених типових варіантів цифрових зображень в пакеті MATLAB:Simulink, з використанням якого можна розрахувати і побудувати характеристики растрування, нафарблення, градаційні характеристики зображень та провести їх аналіз.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо цифрове зображення, подане аналоговим виразом у якому яскравість елемента зображення виражається числовими значеннями в межах $[0 \leq L \leq 255]$, у якому нуль відповідає чорному кольору, а «255» білому, яке містить 256 рівнів сірого. Приймаючи, що аргументами є нормоване зображення $L_n = L/255$ в загальному плані записуємо нормоване растрове перетворення.

$$S = F(L_n, r), \quad (2)$$

в якому r – показник степеневі функції, що відповідає растровому перетворенню, $F(\)$ – функція, яка забезпечує вибраний алгоритм растрування цифрового зображення.

Основні вимоги і властивості функції $F()$ – неперервна спадна функція, якщо аргумент $L_n = 0$, то функція $F() = 1$, якщо $L_n = 1$, то $F() = 0$, при масштабуванні не змінює форму. Для забезпечення поставлених вимог до функцій растрового перетворення вибрали змінену нормовану степеневу функцію:

$$S = (1 - L_n)^r, \text{ якщо } 0 \leq L_n \leq 1, \text{ то } 1 \leq S \leq 0, \quad (3)$$

в якому L_n – нормоване цифрове зображення, S – відносна площа растрових елементів одержаних після растрування, r – показник степені, який задає алгоритм нормованого растрового перетворення і характеристику растрування.

Якщо у виразі (3) лінійно змінювати L_n у заданих межах, то можна розрахувати і побудувати характеристику нормованого растрового перетворення цифрового зображення. Якщо показник $r > 1$, то характеристика растрування відповідатиме світлим тонам зображення. Для дослідження опрацювали типові варіанти растрового перетворення цифрових зображень світлих тонів:

$$S_1 = (1 - L_n)^{1,0}, \quad (3)$$

$$S_2 = (1 - L_n)^{1,36}, \quad (4)$$

$$S_3 = (1 - L_n)^{1,6}, \quad (5)$$

$$S_4 = (1 - L_n)^{2,0}, \text{ якщо } 0 \leq L_n \leq 1, \text{ то } 1 \leq S \leq 0. \quad (6)$$

Якщо у виразах (3) - (6) лінійно змінювати нормоване цифрове зображення в межах $[0 \leq L \leq 1]$, то зміною показника степені r можна одержати різні алгоритми растрового перетворення цифрових зображення світлих тонів.

Тепер розглянемо покриття відносної площі растрових елементів (3), визначивши кількість фарби (нафарблення).

$$V = SK_v, \quad (7)$$

де коефіцієнт нафарблення $K_v = H / H_n$, при чому H – задана товщина шару фарби, H_n – номінальне значення товщини.

Для гарного кольору номінальна товщина фарби знаходиться в межах $[0,8-1,6]$ мкм і залежить від типу паперу (крейдовий, глянцевиий, матовий і некрейдований) [5, 7]. Якщо визначено нафарблення (7), то за ним визначимо нафарблене растрове перетворення цифрових зображень.

$$L_v = 255V, \quad (8)$$

Для кількісної оцінки зорового сприйняття нафарбленого растрового перетворення цифрових зображень визначено його контрастну чутливість.

$$C = \frac{dL_i}{dL_v}, \quad (9)$$

яка визначається похідною нафарбленого растрове перетвореного цифрового зображення на інтервалі тонопередачі.

На основі викладеного і виразів (3) - (9) можна розрахувати і побудувати характеристики растрового перетворення цифрових зображень, градаційні характеристики нафарбленого растрового перетворення і контрастної чутливості. Для спрощення вирішення поставлених завдань застосовано об'єктно-орієнтоване програмування в пакеті MATLAB: Simulink. На основі викладеного розроблено структурну схему моделі чотирьох каналного симулятора нафарблення растрового

перетворення типових варіантів цифрових зображень світлих тонів, яка зображена на рис.1.

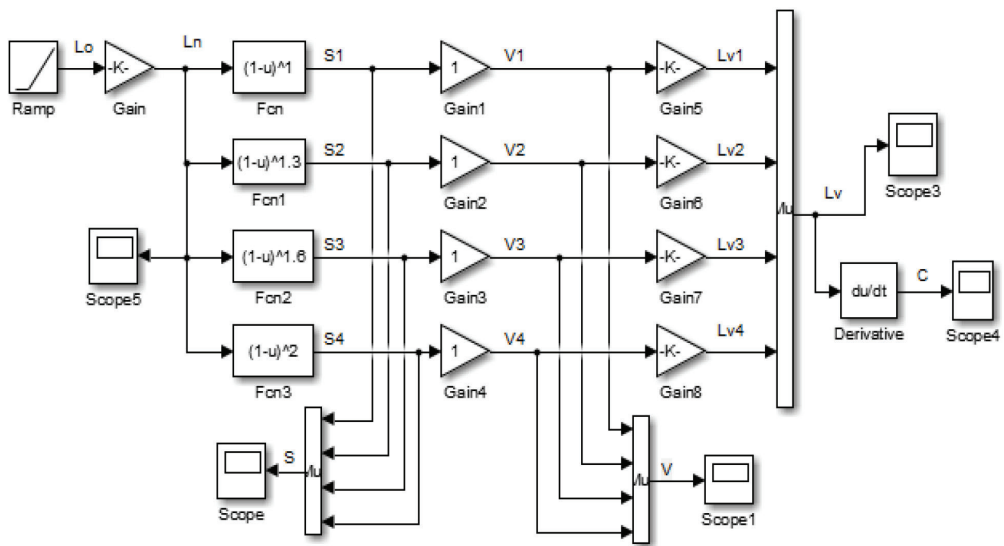


Рис. 1 Структурна схема моделі симулятора нафарблення растрового перетворення типових варіантів цифрових тонів

Блок Ramp генерує лінійну цифрову шкалу L_0 , яка в блоці Gain масштабується (множить на $1/255$), а одержана нормована шкала L_n паралельно подається на входи операційних блоків математичних функцій $F_{cn} - F_{cn3}$ у діалогових вікнах, в яких записана програма виразу (3) - (6) для обчислення відносних площ S типових варіантів растрового перетворення цифрових зображень, які подаються на входи першого стовпця блоків Gain в яких задають коефіцієнт нафарблення K_v , а на їх виходах одержується кількість фарби, яка подається на входи наступних блоків Gain, де відбувається множення на 255. На їх виходах одержано нафарблене растрове перетворення цифрових зображень L_v , які подаються на вхід мультиплексора і візуалізується блоком Scope2 та подається на вхід блоку Derivative (Диференціювання). На виході одержується відносна чутливість цифрових нафарблених зображень L_v , які демонструються блоком Scope2 I Display.

Налаштували симулятор, задавши у діалогових вікнах блоків математичних функцій $F_{cn} - F_{cn3}$ показники степені r : 1,0; 1,3; 1,6; 2,0, які відповідають світлим тонам. У блоках Gain першого стовпця задали коефіцієнти нафарблення $K_v=1,0$. Результати моделювання типових варіантів характеристик растрового перетворення світлих тонів подані на рис.2.

Лінійна характеристика S_1 відповідає лінійному перетворенню. Характеристики типових варіантів растрового перетворення цифрових зображень є вгнутими кривими. Початкова кривизна характеристик залежить від показника степені. Найбільшу крутизну має нижня характеристика S_4 , які відповідає показнику степені

$r = 2,0$. Характеристики растрівання стиснуті у сторону світлих тонів, внаслідок чого растрові зображення стають світлішими. Отже, за допомогою зміни показника степені можна одержати різні алгоритми растрового перетворення цифрових зображень світлих тонів.

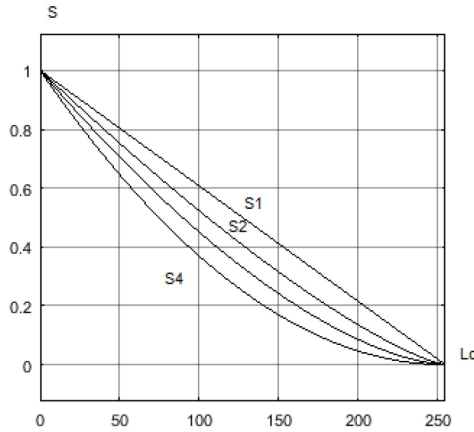


Рис. 2. Характеристики типових варіантів растрового перетворення цифрових зображень

Результати моделювання нафарблення растрових елементів цифрових зображень світлих тонів подані на рис.3.

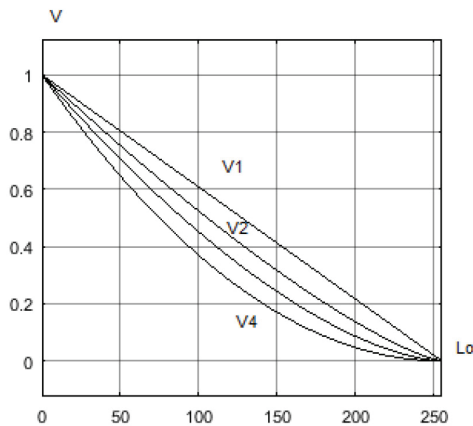


Рис.3. Графіки нафарблення типових варіантів растрового перетворення цифрових зображень

Лінійна характеристика нафарблення V_1 відповідає лінійному перетворенню. Характеристики нафарблення типових варіантів растрового перетворення цифрових зображень є вгнутими кривими рівномірно розташованими на площині. Початкова кривизна характеристик залежить від показника степені.

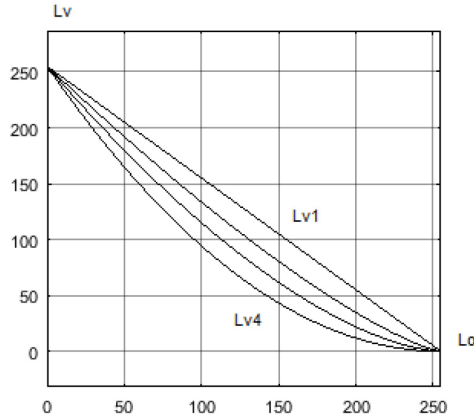


Рис.4. Графіки градаційних характеристик типових варіантів нафарбленого растрового перетворення цифрових зображень

Найбільшу крутизну має нижня характеристика V4, яка відповідає показнику степені $r = 2,0$. В кінці інтервалу кривизна характеристик зменшується, в наслідок зображення стає більш світлим.

Результати моделювання нафарблених типових варіантів растрового перетворення цифрових зображень світлих тонів подані на рис. 4. Лінійна характеристика Lv1 відповідає нафарбленню лінійної растрової шкали. Початкові значення градаційних характеристик нафарблення становлять 255 одиниць і представлені вгнутими кривими, які мають велику крутизну, яка поступово зменшується, криві прямують до нульового значення. Характеристики нафарблення стиснуті у сторону світлих тонів.

Результати моделювання контрастної чутливості нафарбленого растрового перетворення цифрових зображень подані на рис.5.

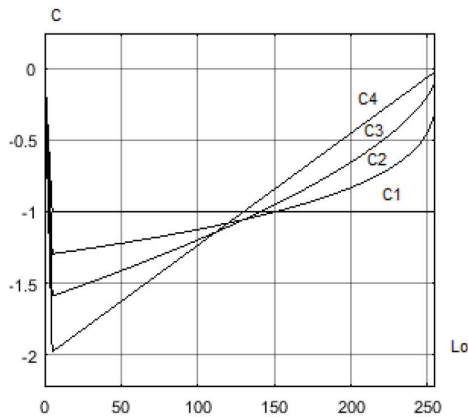


Рис.5. Графіки контрастної чутливості нафарбленого растрового перетворення цифрових зображень

Контрастна чутливість є від'ємною. Її початкові значення дорівнюють нулеві і стрибком приймають значення: $-1,0$; $-1,295$; $-1,589$; $-1,977$ одиниць. Після цього чутливості помалу збільшується в околі L_0 [130 - 150], перетинають одиничну пряму, стають випуклими кривими і прямують до кінцевих значень: $C_1 = -1,0$; $C_2 = -0,2$; $C_3 = -0,09$; $C_4 = -0,02$. Отже, контрастна чутливість задовольняє вимогам до плавності на усьому інтервалі тонопередачі і відповідає сприйняттю контрастної чутливості зображення зором людини [2, 5].

Висновки. Розроблено математичну модель растрового перетворених цифрових зображень у вигляді зміщеної нормованої степеневі функції у якій змінною показника степені можна одержати різні ефективні алгоритми растрового перетворення цифрових зображень і на його основі розроблено типові варіанти перетворення світлих тонів. Описано покриття растрових елементів фарбою, визначеною кількістю фарби – нафарблення растрове перетворених цифрових зображень і на його основі побудовано градаційні характеристики типових варіантів нафарбленого растрового перетворення цифрових зображень. Для кількісної оцінки зорового сприйняття нафарбленого растрового перетворення цифрових зображень визначено його контрастну чутливість, яка відповідає чутливості зображень зором людини.

Розроблено структурну схему моделі симулятора нафарблення типових варіантів растрового перетворених цифрових зображень в пакеті MATLAB:Simulink. Подані результати імітаційного моделювання. Встановлено, що характеристики нафарблених типових варіантів растрового перетворення цифрових зображень є вгнутими кривими рівномірно розташованими на площині. Початкова кривизна характеристик залежить від показника степені. Найбільшу крутизну має характеристика, яка відповідає показнику степені $r=2,0$. Доведено, що градаційні характеристики типових варіантів нафарбленого растрового перетворення цифрового зображення мають початкові значення 255 одиниць і є вгнутими кривими з великою крутизною, яка поступово зменшується, криві прямують до кінцевого нульового значення, а характеристики стиснуті у світлі тони.

Встановлено, що контрастна чутливість нафарбленого растрового перетворення цифрових зображень є від'ємною і має початкові значення: $-1,0$; $-1,295$; $-1,589$; $-1,977$ одиниць, після чого чутливість поступово збільшується, стає випуклими кривими і прямує до кінцевих значень $C_1=-1,0$; $C_2=-0,2$; $C_3=-0,09$; $C_4=-0,02$. Контрастна чутливість відповідає вимогам плавності на інтервалі тонопередачі і сприйняттю контрастної чутливості зображення людським зором.

Результати проведених досліджень знано розширяють можливості аналізувати підготовку зображень до растрування у комп'ютерних видавничих системах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барановський І.В., Яхимович Ю.Я. Поліграфічна переробка образотворчої інформації: Навч. посібник. -Київ-Львів: ІЗМН.1998. -400с.
2. Воробель Р.А. Логарифмічна обробка зображень. Київ: Науково-виробниче підприємство «Видавництво «Наукова думка» НАН України».2012. 230с.

3. Гавриш Б.М., Дурняк Б.В., Тимченко О.В., Ющик О.В. Відтворення зображень растровими пристроями. Навчальний посібник. Львів: УАД, 2016. 180с.
4. Луцків М.М., Цифрові технології друкарства: монографія, Львів: УАД, 2012, 488с.
5. Лотошинська Н.Д., Івахів О.В. Теорія кольору та кольоровідтворення: Навч. Посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014, 204с.
6. Мартинюк В.Т., Основи додрукарської підготовки образотворчої інформації: Кн.2. Основи опрацювання образотворчої інформації: підручник, Київ: Університет «Україна», 2009, 291с.
7. Пашуля П.Л. Стандартизація, метрології, відповідність, якість у поліграфії: підручник Львів: УАД, 2011, 408с.
8. Baczynski L. Skanery i skanowanie. Warszawa: Wydawnictwo Mikoma, 2005.-88с.
9. Jahne B. Digital Image. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2007. 580с.

REFERENCES

1. Baranovskyi I.V., Yakhymovych Y.I. Polihrafichna pererobka obrazotvorchoi informatsii: Education Handbook, -Kyiv-Lviv: IZMN. 1998. -400p.
2. Vorobel R.A. Loharyfmichna obrobka zobrazhen. Kyiv: Naukovo-vyrobnyche pidpriemstvo «Vydavnytstvo «Naukova dumka» NAN Ukrainy». 2012.-232p.
3. Havrysh B.M., Durniak B.V., Tymchenko O.V., Yushchak O.V. Vidtvorennia zobrazhen rastrovymy prystroiamy. Education Handbook. Lviv: UAP, 2016. 180p.
4. Lutskiv M.M., Tsyfrovi tekhnolohii drukarstva: monography, Lviv: UAP, 2012, 488p.
5. Lotoshynska N.D., Ivakhiv O.V. Teoriiia koloru ta kolorotvorennia: Education Handbook. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniky, 2014, 204p.
6. Martyniuk V.T., Osnovy dodrukarskoi pidhotovky obrazotvorchoi informatsii: Kн.2. Osnovy opratsiuvannia obrazotvorchoi informatsii: Textbook, Kyiv: University «Ukraine», 2009, 291p.
7. Pashulia P.L. Standartyzatsiia, metrolohii, vidpovidnist, yakist u polihrafii: hankdbook, Lviv: UAP. 2011, 408p.
8. Baczynski L. Skanery i skanowanie. Warszawa: Wydawnictwo Mikoma, 2005.-88p.
9. Jahne B. Digital Image. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2007. 580p.

doi: 10.32403/1998-6912-2024-2-69-120-129

MODULATION OF TINTING OF RASTER-CONVERTED DIGITAL IMAGES OF LIGHT TONES

A. V. Yanchynskyi

*Ukrainian Academy of Printing
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79000, Ukraine*

A mathematical model of raster-converted digital images of light tones has been developed, represented by an analog expression, in which the brightness L is expressed by

levels with values $[0, 255]$, over which a normalized raster transformation $S = F(Ln, r)$ has been performed and the coverage of relative areas with paint, described by the amount of paint V , depending on the tinting coefficient, and the tinting of digital images $L_v = 255V$ has been determined, which makes it possible to calculate and construct the characteristics of raster conversion, tinting intensity and contrast sensitivity of tinted raster-converted digital images.

A structural diagram of a four-channel simulator model of raster-transformed typical variants of digital images of light tones has been developed in the MATLAB:Simulink package, which simultaneously calculates the characteristics of rasterization, tinting, gradation characteristics of tinted images and their contrast sensitivity, which make it possible to analyze their properties necessary for high-quality preparation of digital images for printing.

The coating of raster elements with paint, a certain amount of paint - tinting of raster-transformed digital images, is described and on its basis the gradation characteristics of typical variants of tinted raster transformation of digital images are constructed. To quantitatively assess the visual perception of tinted raster transformation of digital images, its contrast sensitivity, which corresponds to the sensitivity of images by human vision, is determined.

The results of modeling the characteristics of typical variants of raster-converted digital images, typical gradation characteristics of colored digital images, which are convex curves well located in the tone interval, and contrast sensitivity graphs of colored raster conversion of digital images of light tones are presented. It was established that the thickness of the paint significantly affects the gradation characteristics and causes losses in dark areas, which are 24 - 64 gray levels, and the contrast sensitivity is from -1.0; -1.29; -1.5; -2.0 to -1.0; -0.20; -0.09; -0.02 units.

It was established that the characteristics of colored typical variants of raster conversion of digital images are concave curves evenly located on the plane. The initial curvature of the characteristics depends on the power exponent. The steepest characteristic has a characteristic that corresponds to the power exponent $r=2.0$. It is proven that the gradation characteristics of typical variants of the colored raster transformation of a digital image have initial values of 255 units and are concave curves with a large steepness, which gradually decreases, the curves approach the final zero value, and the characteristics are compressed in light tones.

The results of the conducted research significantly expand the possibilities of analyzing the preparation of images for rasterization in computer publishing systems

Keywords: make-up, rasterization, digital images, simulator, characteristics, properties, contrast sensitivity.

Стаття надійшла до редакції 04.08.2024.

Received 04.08.2024.